

增强型目标轨迹预测与目标筛选研究及实现

卢 雄, 王 全, 文健峰, 杨杰君, 欧阳智

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘 要:提出一种增强型目标轨迹预测与目标筛选控制算法。通过对自车以及对感知融合后的有效目标集进行轨迹预测并对有效目标集进行目标筛选,可得到输出稳定且可用于各类横向与纵向控制的道路目标集。

关键词:高级辅助驾驶; 目标轨迹预测; 目标筛选

中图分类号:U471.15

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)05-0005-05

Research and Implementation of Enhanced Target Trajectory Prediction and Target Screening

LU Xiong, WANG Quan, WEN Jianfeng, YANG Jiejun, OUYANG Zhi

(CRRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: This paper proposes an enhanced control algorithm for target trajectory prediction and target screening. Through the trajectory prediction of the self-vehicle and the effective target set after the perception fusion, and the target screening of the effective target set, which has a stable the road target set output and can be used for various lateral and vertical control is achieved.

Key words: advanced assisted driving; target trajectory prediction; target screening

随着汽车智能网联技术的发展,高级辅助驾驶系统(简称 ADAS)一直是行业的热点。其中车辆的横向与纵向控制一直是 ADAS 的重点领域^[1]。如自动紧急制动(AEBS)、自适应巡航(ACC)、碰撞缓解(CMBS)、虚拟保险杠(VBS)等都属于车辆的横向或纵向控制。多数情况下对车辆进行横向与纵向控制时需要有相应稳定可追踪的目标作为控制系统输入。因此从感知融合端输出的有效目标集中筛选出稳定且可用于各类横向与纵向控制的道路目标(简称 RT 目标)极其重要。

图如图 1 所示。

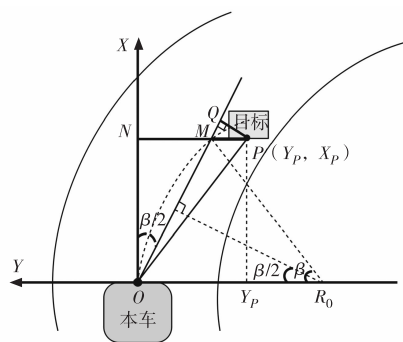


图 1 自车向右转动时运动示意图

1 传统方案

1.1 轨迹预测

以自车摄像头中心点为坐标原点建立车辆平面坐标系,车速为 v 时自车瞬间向右转动时的平面示意

假设自车初始速度方向为 X 轴,目标中心点 P 的坐标为 (Y_p, X_p) ,当自车绕 Z 轴方向的瞬时摆动中心 R_0 摆动时,设其横摆角速度为 w ,则自车运动轨迹为 $\widehat{OM}$ 及其延长弧线。为了后期问题的处理,将问题

收稿日期:2022-03-16。

第一作者:卢 雄(1996—),男,工程师;主要从事新能源汽车整车控制与辅助驾驶控制软件开发工作。E-mail:925096526@qq.com。

进行简化,即将自车运动轨迹按照 $\widehat{OM}$ 对应的弦 OM 及其延长线处理。由此可求得自车从 O 点移动到 M 点的时间 t 以及 t 时间内自车从 O 点绕瞬时摆动中心 R_0 摆动到 M 点所横摆过的角度 β 。由几何关系可得, OM 与 X 轴的夹角为 $\beta/2$ 。

$$t = OM/v, \text{ 而 } OM = \frac{X_p}{\cos(\beta/2)}, \beta = w \cdot t$$

因此,在当前横摆角速度 w 下, t 时间内自车走过的横向距离 NM 为

$$NM = X_p \cdot \tan(\beta/2)$$

定义 MP 为危险区域的横向距离,此时 $MP = Y_p - NM$ 。

1.2 危险目标筛选

假设车道宽 3.75 m ,若当前目标对应的 $|MP| \leq 2.0\text{ m}$ (可另外标定),则认为该目标为危险区域内可能发生碰撞风险的目标。当有多个可能发生碰撞风险的目标时,则筛选出离自车纵向距离(即 X_p)最近的目标作为ADAS的碰撞目标。

该方案主要存在以下2个问题:

1) 当自车运动轨迹为 $\widehat{OM}$ 时,目标离自车轨迹最近的距离并非 $|MP|$,而是 $|PQ|$,而且 $|MP|$ 值始终比 $|PQ|$ 值大,因此存在对危险目标漏识别的风险。

2) 一次只筛选出1个危险目标,通用性差,可拓展性不强,想要新增决策功能时需要根据其功能需求而定制。

本文针对以上问题,提出一种新型的目标轨迹预测与目标筛选方案。

2 新型方案

2.1 整体框架

通过各类传感器如毫米波雷达、摄像头等采集当前环境下的目标信息,再对该目标信息进行感知融合处理,然后对感知融合处理后的目标信息集进行过滤与目标锁定;对自车运动轨迹以及锁定后的有效目标集的运动轨迹进行预测,通过对预测后的目标状态和危险区域进行界定来对有效目标集进行筛选,最后输出稳定且可用于各类横向与纵向控制的RT目标集。方案整体框架如图2所示。

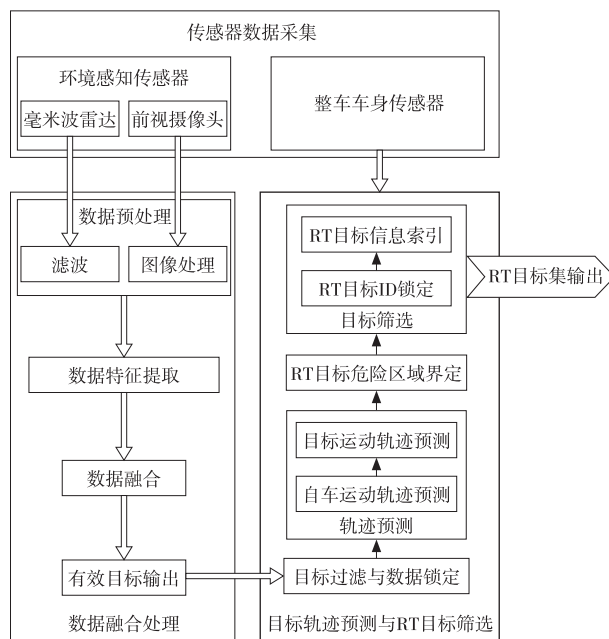


图2 方案整体框架图

2.2 自车运动轨迹预测

以自车摄像头中心点为坐标原点建立自车运动的空间坐标系和平面坐标系,如图3所示,图中画出的是自车瞬间向右转动时对应轨迹的空间示意图与平面示意图。

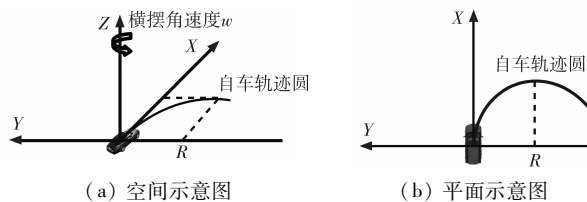


图3 自车向右转动轨迹示意图

假设自车绕 Z 轴瞬时转动,此时自车的瞬时轨迹是圆心为 $(0, \pm R)$ 、半径为 R 的圆弧,则建立其轨迹圆方程:

$$x^2 + (y \pm R)^2 = R^2, R = v/|w|$$

式中: v 为车速; w 为自车绕 Z 轴瞬时移动的横摆角速度。

当自车直行时, $w = 0$,此时自车瞬时轨迹为半径等于无穷大的圆弧。

2.3 目标运动轨迹预测

通过对有效目标的轨迹进行预测,计算各个目标物离自车轨迹线最近的距离,从而界定该目标是否为横向与纵向控制所需的目标^[2-3]。因此问题的关键

是时刻计算目标集离自车轨迹线最近的距离。

同样以摄像头中心点为坐标原点建立车辆坐标系, Y 轴和 X 轴分别代表目标中心与摄像头中心点的横向距离和纵向距离, 且定义坐标系 Y 轴左边为正方向, 右边为负方向^[4-6]。目标中心点 P 的坐标为 (Y_p, X_p) , α 为目标中心与摄像头中心连线之间的夹角, Q 点为目标中心点 P 与自车轨迹圆心 R_0 连线的延长线与自车瞬时轨迹圆的交点; PQ 即为目标中心离自车轨迹线最近的距离(下文统一用 L_{R_m} 命名)。以自车向右转动行驶为例, 画出目标中心与自车轨迹线的 4 种位置关系示意图。这 4 种位置关系的安全距离预测如下:

1) 位置关系 1 预测。目标中心的相对距离 $|Y_p|$ 大于自车轨迹圆的半径 R , 此时目标中心点 P 与自车轨迹圆位置关系如图 4 所示。本方案只考虑自车 1/4 的轨迹圆同圆心向外扩张和向里收缩范围内的目标, 即目标的 $|Y_p| \leq R$ 的情况。当 $|Y_p| > R$ 时, 目标的横向距离超过了自车轨迹圆的半径, 此时认为该目标处于一个无碰撞风险的位置关系状态。此状态下设置 $L_{R_m} = 255$, 其中 255 为自定义的无效值, 刚好占 1 个字节。

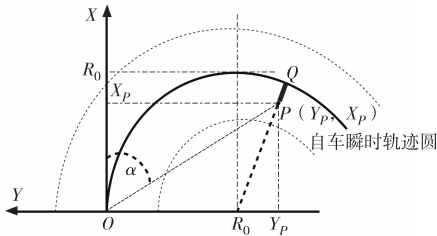


图 4 自车右转时目标与自车轨迹位置关系 1

2) 位置关系 2 预测。目标与自车 1/4 轨迹圆在坐标系中处于同象限、目标中心在自车轨迹圆的包络内或轨迹线上且 $|Y_p| \leq R$ 。此时目标中心与自车轨迹圆位置关系如图 5 所示。

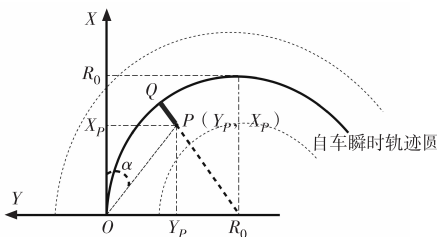


图 5 自车右转时目标与自车轨迹位置关系 2

定义 Y 轴左边为正方向, 右边为负方向, 根据几何关系, 此状态下当自车右转时:

$$L_{R_m} = -[R - \sqrt{(R - |Y_p|)^2 + X_p^2}]$$

同理, 可画出自车左转时目标与自车轨迹位置关系的示意图, 并得到:

$$L_{R_m} = R - \sqrt{(R - |Y_p|)^2 + X_p^2}$$

3) 位置关系 3 预测。目标与自车轨迹线在坐标系中处于同象限且 $|Y_p| \leq R$, 但目标中心在自车 1/4 轨迹圆外。此时目标中心与自车轨迹圆位置关系如图 6 所示。

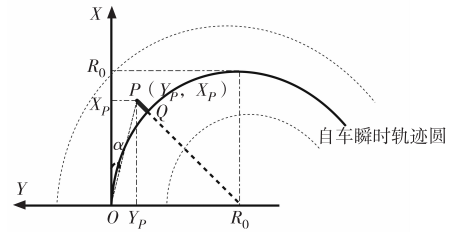


图 6 自车右转时目标与自车轨迹位置关系 3

根据几何关系, 此状态下当自车右转时:

$$L_{R_m} = \sqrt{(R - |Y_p|)^2 + X_p^2} - R$$

同理, 可画出自车左转时目标与自车轨迹位置关系的示意图, 并得到:

$$L_{R_m} = -[\sqrt{(R - |Y_p|)^2 + X_p^2} - R]$$

4) 位置关系 4 预测。目标与自车 1/4 轨迹圆在坐标系中处于非同象限且 $|Y_p| \leq R$, 此时目标中心一定在自车轨迹圆外, 目标与自车轨迹圆位置关系如图 7 所示。

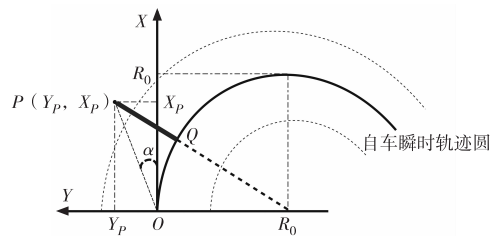


图 7 自车右转时目标与自车轨迹位置关系 4

根据几何关系, 此状态下当自车右转时:

$$L_{R_m} = \sqrt{(R + |Y_p|)^2 + X_p^2} - R$$

同理, 可画出自车左转时目标与自车轨迹位置关系的示意图, 并得到:

$$L_{R-m} = -[\sqrt{(R+|Y_p|)^2 + X_p^2} - R]$$

当感知融合端有故障时,为了防止系统对危险目标的误识别,此时设置目标的 $L_{R-m} = 255$ (无效值);否则各个目标的 L_{R-m} 按照上述 4 种状态正常输出。

2.4 RT 目标危险区域界定

通过图 8 中 7 条轨迹线制定 RT 目标危险区域界定规则,筛选出可用于各类车辆横向与纵向控制的 RT 目标。设定自车车宽为 2.4 m,因此将轨迹线 3 和 5 之间的区域界定为紧急制动目标(简称 CIB 目标)目标出现的区域;由于标准的车道宽度为 3.75 m,考虑到目标并非质点,因此将车道宽度扩到 4 m,所以将轨迹线 2 和 6 之间的区域界定为 RT1/RT2 目标出现的区域;将轨迹线 1 和 2 之间的区域界定为 RT3/RT5 目标出现的区域;将轨迹线 6 和 7 之间的区域界定为 RT4/RT6 目标出现的区域。

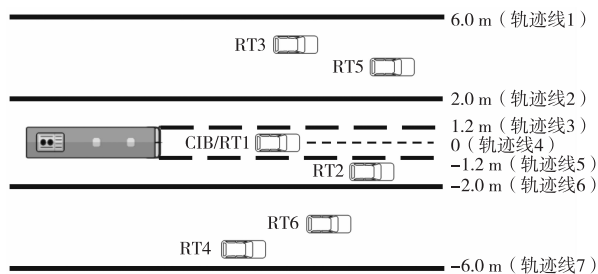


图 8 RT 目标界定规则示意图

上述 CIB 目标可用作于 AEBS 的碰撞目标;RT1 目标可用作于 CMBS 的碰撞目标、ACC 跟随目标或 VBS 的碰撞目标;RT2~RT6 目标可用作于拓展其他横向与纵向控制所需求的目标。对 RT 目标集定义如下:

CIB 目标: $|L_{R-m}| \leq 1.2$ m 的范围内;RT1 目标: $|L_{R-m}| \leq 2$ m 的范围内;RT2 目标: $|L_{R-m}| \leq 2$ m 的范围内;RT3 目标: $2 \text{ m} < L_{R-m} \leq 6 \text{ m}$ 的范围内;RT4 目标: $-6 \text{ m} \leq L_{R-m} < -2 \text{ m}$ 的范围内;RT5 目标: $2 \text{ m} < L_{R-m} \leq 6 \text{ m}$ 的范围内;RT6 目标: $-6 \text{ m} \leq L_{R-m} < -2 \text{ m}$ 的范围内。

CIB、RT1、RT3、RT4 为各自范围内离自车纵向距离最近的目标,RT5、RT6 为各自范围内离自车横向距离最近的目标,RT2 为离自车纵向距离次近的目标。

2.5 RT 目标筛选

从感知融合端输入的有效目标集经过轨迹预测

和上述危险区域界定后便锁定了所需 RT 目标集的原始 ID;根据该原始 ID 就可以索引输出 RT 目标集的信息,如目标类型、相对距离、相对速度、相对角度等,如图 9 所示。相对于第一部分所述的传统方案,新型方案筛选出的目标质量更高、数量更多、可拓展性更强、可测试性更高。因此本文中论述的策略称之为增强型目标轨迹预测与目标筛选。

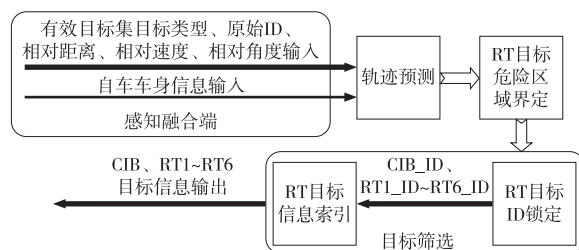


图 9 目标筛选示意图

3 效果分析

为了对比采用新型方案 and 传统方案的效果,本文在同一辆试验车上利用同一套感知设备(智驾 IFVS-500 摄像头、德尔福 ESR2.5 毫米波雷达)同时测试两种方案,保证两种方案每时每刻的数据输入保持一致,断开 ADAS 执行机构,利用上位机同步采集和保存路试(在市区累计进行 6 800 km 路试)过程中所有传统方案和新型方案测试过程以及各自的决策结果数据。通过后期数据回放进行对比分析发现:用传统方案时,CIB/RT1 目标漏识别次数总共为 13 次,约每 1 000 km 漏识别 2 次;CIB/RT1 目标误识别次数总共为 22 次,约每 1 000 km 漏识别 3 次;用新型方案时,CIB/RT1 目标漏识别次数总共为 4 次,约每 1 000 km 漏识别 1 次;CIB/RT1 目标误识别次数总共为 8 次,约每 1 000 km 漏识别 1 次。相对于传统方案,新型方案 CIB/RT1 目标的误识别率降低 63%,漏识别率降低 69%。新型方案效果明显更好。

4 结束语

本文提出了一种目标轨迹预测与目标筛选的新型方案,得到了各个目标离自车轨迹最近的距离,并实现了 RT 目标的有效筛选^[7-9]。目前该方案已应用到公司 AEBS、CMBS、ACC 等产品上,实际应用表明

其有效可行。

参考文献:

- [1] 刘灿. 城市交通拥堵辅助巡航控制系统策略研究[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [2] 王成. 基于毫米波雷达和相机信息融合的危险目标检测方法研究[D]. 长春:吉林大学,2020.
- [3] 申志昂. 基于弯道工况的多目标优化自适应巡航控制研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2020.
- [4] 郭蓬,何佳,刘修知,等. 基于角毫米波雷达的目标筛选[J]. 汽车实用技术,2020(11):26-28.
- [5] 陈乔松,周丽,毛彦媚,等. 基于浅层空间特征融合与自适应通道筛选的目标检测方法[J]. 江苏大学学报(自然科学版),2022,43(1):67-74.
- [6] 孙鹏飞. 汽车自适应巡航系统(ACC)起停控制研究[D]. 长春:吉林大学,2018.
- [7] 周丽. 基于浅层特征融合与通道筛选的目标检测方法研究[D]. 重庆:重庆邮电大学,2021.
- [8] 张俊华,杨根,徐青. 雷达对可探测空间目标的快速筛选方法[J]. 计算机仿真,2011,28(11):10-13.
- [9] 曾俊延,彭金栓,韩东鑫. 变道辅助系统弯道目标车辆位置识别方法[J]. 公路与汽运,2018(2):1-4.

《客车技术与研究》征稿启事

《客车技术与研究》创刊于1979年,双月刊,是国内目前唯一公开发行的客车领域学术期刊。本刊由重庆市交通局主管,重庆交通科研设计院、重庆车辆检测研究院有限公司和中国公路学会客车分会主办,现已被国内外多家检索机构收录,包括中国核心期刊(遴选)数据库、万方数据——数字化期刊群、中国期刊全文数据库、中文科技期刊数据库、中国学术期刊综合评价数据库、JST 日本科学技术振兴机构数据库(日)(2018)等,是《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊。在“中国知网”收录的与汽车相关的近70种学报和期刊中,本刊的复合影响因子位列前十,具有较高的学术影响力。

本刊主要刊登内容为国家科技政策及有关国内外客(汽)车技术等方面的学术论文,包括科研成果和实践经验,标准,新技术、新工艺及新材料,客车市场,客车检测,使用和维修,经营与管理等。欢迎相关领域的专家、学者赐稿。

本刊重点关注的研究方向:

- | | | |
|------------|-----------|----------|
| ◆智能网联客(汽)车 | ◆新能源客(汽)车 | ◆节能与排放 |
| ◆安全与碰撞 | ◆振动与噪声 | ◆新工艺与新材料 |
| ◆客(汽)车电子 | ◆设计与计算 | ◆标准解读 |

E-mail:btreq@163.com

QQ:1711088150

微信公众号:客车技术与研究

网址(在线投稿):<http://www.bus-in.cmct.cn>(中交客车网)

地址、电话:重庆市高新区新金大道9号 023-62653044

